

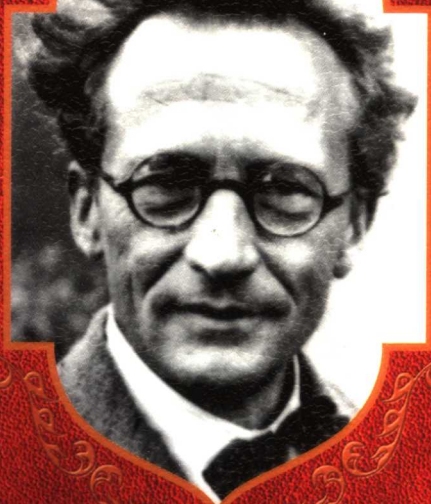
科学素养文库·科学元典丛书



薛定谔讲演录

Lectures of Schrödinger

[奥地利] 薛定谔 著



科学元典是科学史和人类文明史上划时代的丰碑，是人类文化的优秀遗产，是历经时间考验的不朽之作。它们不仅是伟大的科学创造的结晶，而且是科学精神、科学思想和科学方法的载体，具有永恒的意义和价值。



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

科学素养文库·科学元典丛书

0413.1/69

2007

薛定谔讲演录

Lectures of Schrödinger

[奥地利] 薛定谔 著 范岱年 胡新和 译



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

薛定谔讲演录/(奥)E. 薛定谔著;范岱年,胡新和译. —北京:北京大学出版社,2007. 10
(科学素养文库·科学元典丛书)

ISBN 978-7-301-09563-8

I. 薛… II. ①薛…②范…③胡… III. 波动力学 IV. 0413.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 096660 号

书 名: 薛定谔讲演录

著作责任者: [奥地利] E. 薛定谔 著 范岱年 胡新和 译

丛书策划: 周雁翎

丛书主持: 陈斌惠

责任编辑: 刘 维

标准书号: ISBN 978-7-301-09563-8/K·0413

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 电子信箱: zyl@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62767346 出版部 62754962

印 刷 者: 北京中科印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 16 插页 340 千字

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: (010)62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

葡萄饱含着汁液鲜美而香甜，
在那山前，它现出目光深沉的容颜。
太阳在八月蔚蓝色的天空里，
发热、燃烧着，让冷飕飕的山风消散。

紫色的果实把红日引到身边：
请尝一尝串串的果儿馈赠的香甜。
汁液沿太阳的血管缓缓流动，
它蕴藏着给你和他人的欢乐无限。

啊！已临近岁暮，那成熟之年，
夜晚降临了，带来的是凛冽严寒。
云儿在高空飘浮，在那日出之前，
寒霜覆盖着网一般的别致的藤蔓。

——E. 薛定谔

北京大学通识教育经典名著阅读计划



Lectures of Schrödinger

科学素养文库·科学元典丛书

主 编 任定成

执行主编 周雁翎

策 划 周雁翎

主 持 陈斌惠

科学元典是科学史和人类文明史上划时代的丰碑，是人类文化的优秀遗产，是历经时间考验的不朽之作。它们不仅是伟大的科学创造的结晶，而且是科学精神、科学思想和科学方法的载体，具有永恒的意义和价值。

弁 言

· *Preface to Series of Chinese Version* ·



这套丛书中收入的著作，是自文艺复兴时期现代科学诞生以来，经过足够长的历史检验的科学经典。为了区别于时下被广泛使用的“经典”一词，我们称之为“科学元典”。

我们这里所说的“经典”，不同于歌迷们所说的“经典”，也不同于表演艺术家们朗诵的“科学经典名篇”。受歌迷欢迎的流行歌曲属于“当代经典”，实际上是时尚的东西，其含义与我们所说的代表传统的经典恰恰相反。表演艺术家们朗诵的“科学经典名篇”多是表现科学家们的感情和生活态度的散文，甚至反映科学家生活的话剧台词，它们可能脍炙人口，是否属于人文领域里的经典姑且不论，但基本上没有科学内容。并非著名科学大师的一切言论或者是广为流传的作品都是科学经典。

这里所谓的科学元典，是指科学经典中最基本、最重要的著作，是在人类智识史和人类文明史上划时代的丰碑，是理性精神的载体，具有永恒的价值。

—

科学元典或者是一场深刻的科学革命的丰碑，或者是一个严密的科学体系的构架，或者是一个生机勃勃的科学领域的基石。它们既是昔日科学成就的创造性总结，又是未来科学探索的理性依托。

哥白尼的《天体运行论》是人类历史上最具革命性的震撼心灵的著作，它向统治西方思想千余年的地心说发出了挑战，动摇了“正统宗教”学说的天文学基础。伽利略《关于

托勒密与哥白尼两大世界体系的对话》以确凿的证据进一步论证了哥白尼学说，更直接地动摇了教会所庇护的托勒密学说。哈维的《心血运动论》以对人类躯体和心灵的双重关怀，满怀真挚的宗教情感，阐述了血液循环理论，推翻了同样统治西方思想千余年、被“正统宗教”所庇护的盖伦学说。笛卡尔的《几何》不仅创立了为后来诞生的微积分提供了工具的解析几何，而且折射出影响万世的思想方法论。牛顿的《自然哲学之数学原理》标志着 17 世纪科学革命的顶点，为后来的工业革命奠定了科学基础。分别以惠更斯的《光论》与牛顿的《光学》为代表的波动说与微粒说之间展开了长达 200 余年的论战。拉瓦锡在《化学基础论》中详尽论述了氧化理论，推翻了统治化学百余年之久的燃素理论，这一智识壮举被公认为历史上最自觉的科学革命。道尔顿的《化学哲学新体系》奠定了物质结构理论的基础，开创了科学中的新时代，使 19 世纪的化学家们有计划地向未知领域前进。傅立叶的《热的解析理论》以其对热传导问题的精湛处理，突破了牛顿《原理》所规定的理论力学范围，开创了数学物理学的崭新领域。达尔文《物种起源》中的进化论思想不仅在生物学发展到分子水平的今天仍然是科学家们阐释的对象，而且 100 多年来几乎在科学、社会和人文的所有领域都在施展它有形和无形的影响。《基因论》揭示了孟德尔式遗传性状传递机理的物质基础，把生命科学推进到基因水平。爱因斯坦的《狭义与广义相对论浅说》和薛定谔的《关于波动力学的四次演讲》分别阐述了物质世界在高速和微观领域的运动规律，完全改变了自牛顿以来的世界观。魏格纳的《海陆的起源》提出了大陆漂移的猜想，为当代地球科学提供了新的发展基点。维纳的《控制论》揭示了控制系统的反馈过程，普里戈金的《从存在到演化》发现了系统可能从原来无序向新的有序态转化的机制，二者的思想在今天的影响已经远远超越了自然科学领域，影响到经济学、社会学、政治学等领域。

科学元典的永恒魅力令后人特别是后来的思想家为之倾倒。欧几里得的《几何原本》以手抄本形式流传了 1800 余年，又以印刷本用各种文字出了 1000 版以上。阿基米德写了大量的科学著作，达·芬奇把他当作偶像崇拜，热切搜求他的手稿。伽利略以他的继承人自居。莱布尼兹则说，了解他的人对后代杰出人物的成就就不会那么赞赏了。为捍卫《天体运行论》中的学说，布鲁诺被教会处以火刑。伽利略因为其《关于托勒密与哥白尼两大世界体系的对话》一书，遭教会的终身监禁，备受折磨。伽利略说吉尔伯特的《论磁》一书伟大得令人嫉妒。拉普拉斯说，牛顿的《自然哲学之数学原理》揭示了宇宙的最伟大定律，它将永远成为深邃智慧的纪念碑。拉瓦锡在他的《化学基础论》出版后 5 年被法国革命法庭处死，传说拉格朗日悲愤地说，砍掉这颗头颅只要一瞬间，再长出这样的头颅一百年也不够。《化学哲学新体系》的作者道尔顿应邀访法，当他走进法国科学院会议厅时，院长和全体院士起立致敬，得到拿破仑未曾享有的殊荣。傅立叶在《热的解析理论》中阐述的强有力的数学工具深深影响了整个现代物理学，推动数学分析的发展达一个多世纪，麦克斯韦称赞该书是“一首美妙的诗”。当人们咒骂《物种起源》是“魔鬼的经典”、“禽兽的哲学”的时候，赫胥黎甘做“达尔文的斗犬”，挺身捍卫进化论，撰写了《进化论与伦理学》和《人类在自然界的位置》，阐发达尔文的学说。经过严复的译述，赫胥黎的著作成为维新领袖、辛亥精英、五四斗士改造中国的思想武器。爱因斯坦说法拉第在《电学实验研究》中论证的磁场和电场的思想是自牛顿以来物理学基础所经历的最深刻

变化。

在科学元典里,有讲述不完的传奇故事,有颠覆思想的心智波涛,有激动人心的理性思考,有万世不竭的精神甘泉。

二

按照科学计量学先驱普赖斯等人的研究,现代科学文献在多数时间里呈指数增长趋势。现代科学界,相当多的科学文献发表之后,并没有任何人引用。就是一时被引用过的科学文献,很多没过多久就被新的文献所淹没了。科学注重的是创造出新的实在知识。从这个意义上说,科学是向前看的。但是,我们也可以看到,这么多文献被淹没,也表明划时代的科学文献数量是很少的。大多数科学元典不被现代科学文献所引用,那是因为其中的知识早已成为科学中无须证明的常识了。即使这样,科学经典也会因为其中思想的恒久意义,而像人文领域里的经典一样,具有永恒的阅读价值。于是,科学经典就被一编再编、一印再印。

早期诺贝尔奖得主奥斯特瓦尔德编的物理学和化学经典丛书《精密自然科学经典》从1889年开始出版,后来以《奥斯特瓦尔德经典著作》为名一直在编辑出版,有资料说目前已经出版了250余卷。祖德霍夫编辑的《医学经典》丛书从1910年就开始陆续出版了。也是这一年,蒸馏器俱乐部编辑出版了20卷《蒸馏器俱乐部再版本》丛书,丛中全是化学经典,这个版本甚至被化学家在20世纪的科学刊物上发表的论文所引用。一般把1789年拉瓦锡的化学革命当作现代化学诞生的标志,把1914年爆发的第一次世界大战称为化学家之战。奈特把反映这个时期化学的重大进展的文章编成一卷,把这个时期的其他9部总结性化学著作各编为一卷,辑为10卷《1789—1914年的化学发展》丛书,于1998年出版。像这样的某一科学领域的经典丛书还有很多很多。

科学领域里的经典,与人文领域里的经典一样,是经得起反复咀嚼的。两个领域里的经典一起,就可以勾勒出人类智识的发展轨迹。正因为如此,在发达国家出版的很多经典丛中,就包含了这两个领域的重要著作。1924年起,沃尔科特开始主编一套包括人文与科学两个领域的原始文献丛书。这个计划先后得到了美国哲学协会、美国科学促进会、科学史学会、美国人类学协会、美国数学协会、美国数学学会以及美国天文学学会的支持。1925年,这套丛书中的《天文学原始文献》和《数学原始文献》出版,这两本书出版后的25年内市场情况一直很好。1950年,他把这套丛书中的科学经典部分发展成为《科学史原始文献》丛书出版。其中有《希腊科学原始文献》、《中世纪科学原始文献》和《20世纪(1900—1950年)科学原始文献》,文艺复兴至19世纪则按科学学科(天文学、数学、物理学、地质学、动物生物学以及化学诸卷)编辑出版。约翰逊、米利肯和威瑟斯庞三人主编的《大师杰作丛书》中,包括了小尼德勒编的3卷《科学大师杰作》,后者于1947年初版,后来多次重印。

在综合性的经典丛中,影响最为广泛的当推哈钦斯和艾德勒1943年开始主持编译的《西方世界伟大著作丛书》。这套书耗资200万美元,于1952年完成。丛书根据独

创性、文献价值、历史地位和现存意义等标准,选择出 74 位西方历史文化巨人的 443 部作品,加上丛书导言和综合索引,辑为 54 卷,篇幅 250 万单词,共 32000 页。丛书中收入不少科学著作。购买丛书的不仅有“大款”和学者,而且还有屠夫、面包师和烛台匠。迄 1965 年,丛书已重印 30 次左右,此后还多次重印,任何国家稍微像样的大学图书馆都将其列入必藏图书之列。这套丛书是 20 世纪上半叶在美国大学兴起而后扩展到全社会的经典著作研读运动的产物。这个时期,美国一些大学的寓所、校园和酒吧里都能听到学生讨论古典佳作的声音。有的大学要求学生必须深研 100 多部名著,甚至在教学中不得使用最新的实验设备而是借助历史上的科学大师所使用的方法和仪器复制品去再现划时代的著名实验。至 1940 年代末,美国举办古典名著学习班的城市达 300 个,学员约 50000 余众。

相比之下,国人眼中的经典,往往多指人文而少有科学。一部公元前 300 年左右古希腊人写就的《几何原本》,从 1592 年到 1605 年的 13 年间先后 3 次汉译而未果,经 17 世纪初和 1850 年代的两次努力才分别译刊出全书来。近几百年来移译的西学典籍中,成系统者甚多,但皆系人文领域。汉译科学著作,多为应景之需,所见典籍寥若晨星。借 1970 年代末举国欢庆“科学春天”到来之良机,有好尚者发出组译出版《自然科学世界名著丛书》的呼声,但最终结果却是好尚者抱憾而终。1990 年代初出版的《科学名著文库》,虽使科学元典的汉译初见系统,但以 10 卷之小的容量投放于偌大的中国读书界,与具有悠久文化传统的泱泱大国实不相称。

我们不得不问:一个民族只重视人文经典而忽视科学经典,何以自立于当代世界民族之林呢?

三

科学元典是科学进一步发展的灯塔和坐标。它们标识的重大突破,往往导致的是常规科学的快速发展。在常规科学时期,人们发现的多数现象和提出的多数理论,都要用科学元典中的思想来解释。而在常规科学中发现的旧范型中看似不能得到解释的现象,其重要性往往也要通过与科学元典中的思想的比较显示出来。

在常规科学时期,不仅有专注于狭窄领域常规研究的科学家,也有一些从事着常规研究但又关注着科学基础、科学思想以及科学划时代变化的科学家。随着科学发展中发现的新现象,这些科学家的头脑里自然而然地就会浮现历史上相应的划时代成就。他们会对科学元典中的相应思想,重新加以诠释,以期从中得出对新现象的说明,并有可能产生新的理念。百余年来,达尔文在《物种起源》中提出的思想,被不同的人解读出不同的信息。古脊椎动物学、古人类学、进化生物学、遗传学、动物行为学、社会生物学等领域的几乎所有重大发现,都要拿出来与《物种起源》中的思想进行比较和说明。玻尔在揭示氢光谱的结构时,提出的原子结构就类似于哥白尼等人的太阳系模型。现代量子力学揭示的微观物质的波粒二象性,就是对光的波粒二象性的拓展,而爱因斯坦揭示的光的波粒二象性就是在光的波动说和粒子说的基础上,针对光电效应,提出的全新理论。而正是

与光的波动说和粒子说二者的困难的比较,我们才可以看出光的波粒二象性说的意义。可以说,科学元典是时读时新的。

除了具体的科学思想之外,科学元典还以其方法学上的创造性而彪炳史册。这些方法学思想,永远值得后人学习和研究。当代研究人的创造性的诸多前沿领域,如认知心理学、科学哲学、人工智能、认知科学等等,都涉及到对科学大师的研究方法的研究。一些科学史学家以科学元典为基点,把触角延伸到科学家的信件、实验室记录、所属机构的档案等原始材料中去,揭示出许多新的历史现象。近二十多年兴起的机器发现,首先就是对科学史学家提供的材料,编制程序,在机器中重新做出历史上的伟大发现。借助于人工智能手段,人们已经在机器上重新发现了波义耳定律、开普勒行星运动第三定律,提出了燃素理论。萨伽德甚至用机器研究科学理论的竞争与接受,系统研究了拉瓦锡氧化理论、达尔文进化学说、魏格纳大陆漂移说、哥白尼日心说、牛顿力学、爱因斯坦相对论、量子论以及心理学中的行为主义和认知主义形成的革命过程和接受过程。

除了这些对于科学元典标识的重大科学成就中的创造力的研究之外,人们还曾经大规模地把这些成就的创造过程运用于基础教育之中。美国兴起的发现法教学,就是几十年前在这方面的尝试。近二十多年来,兴起了基础教育改革的全球浪潮,其目标就是提高学生的科学素养,改变片面灌输科学知识的状况。其中的一个重要举措,就是在教学中加强科学探究过程的理解和训练。因为,单就科学本身而言,它不仅外化为工艺、流程、技术及其产物等器物形态、直接表现为概念、定律和理论等知识形态,更深蕴于其特有的思想、观念和方法等精神形态之中。没有人怀疑,我们通过阅读今天的教科书就可以方便地学到科学元典著作中的科学知识,而且由于科学的进步,我们从现代教科书上所学的知识甚至比经典著作中的更完善。但是,教科书所提供的只是结晶状态的凝固知识,而科学本是历史的、创造的、流动的,在这历史、创造和流动过程之中,一些东西蒸发了,另一些东西积淀了,只有科学思想、科学观念和科学方法保持着永恒的活力。

然而,遗憾的是,我们的基础教育课本和不少科普读物中讲的许多科学史故事都是误讹相传的东西。比如,把血液循环的发现归于哈维,指责道尔顿提出二元化合物的元素原子数最简比是当时的错误,讲伽利略在比萨斜塔上做过落体实验,宣称牛顿提出了牛顿定律的诸数学表达式,等等。好像科学史就像网络上传播的八卦那样简单和耸人听闻。为避免这样的误讹,我们不妨读一读科学元典,看看历史上的伟人当时到底是如何思考的。

现在,我们的大学正处在席卷全球的通识教育浪潮之中。就我的理解,通识教育固然要对理工农医专业的学生开设一些人文社会科学的导论性课程,要对人文社会科学专业的学生开设一些理工农医的导论性课程,但是,我们也可以考虑适当跳出专与博、文与理的关系的思考路数,对所有专业的学生开设一些真正通而识之的综合性课程,或者倡导这样的阅读活动、讨论活动、交流活动甚至跨学科的研究活动,发掘文化遗产、分享古典智慧、继承高雅传统,把经典与前沿、传统与现代、创造与继承、现实与永恒等事关全民素质、民族命运和世界使命的问题联合起来进行思索。

我们面对不朽的理性群碑,也就是面对永恒的科学灵魂。在这些灵魂面前,我们不是要顶礼膜拜,而是要认真研习解读,读出历史的价值,读出时代的精神,把握科学的灵

魂。我们要不断吸取深蕴其中的科学精神、科学思想和科学方法,并使之成为推动我们前进的伟大精神力量。

需要说明的是,编辑科学元典丛书的计划,曾经得益于彭小华先生及李兵先生的支持。1990年代初,在科学史学界一些前辈学者和同辈朋友的帮助下,我主编了《科学名著文库》,由武汉出版社出版。十多年过去了,我更加意识到编辑和出版科学元典丛书的意义。现在,在北京大学出版社的支持下,我们得到原《科学名著文库》以及其他汉译科学元典译者的帮助和配合,编辑出《科学素养文库·科学元典丛书(第一辑)》,奉献给读者。这套丛书的前期组织工作,还得到了中国科学技术协会科普专项资助。当然,科学经典很多。我们不可能把所有科学经典毫无遗漏地都收进这套丛书中来。我们期待着,继第一辑之后,这套丛书还会有第二辑、第三辑……的出版。当然,这需要有更多的优秀译者加入我们的行列。

任定成
2005年8月6日
北京大学承泽园迪吉轩

《薛定谔讲演录》导读

——关于薛定谔和他的波动力学

范岱年

(中国科学院)

• *Chinese Version Introduction* •



永恒的行动和生活已经形成,用温柔的爱的束缚
将你簇拥。什么在波动的幻想中躲躲闪闪,与亘古长
存的思想一起便高枕无忧。

——E. 薛定谔



一

艾尔文·薛定谔(Erwin Schrödinger, 1887—1961)是20世纪杰出的物理学家,波动力学的主要创始人之一。

薛定谔于1887年8月12日生于奥地利维也纳。1906—1910年,他在维也纳大学物理系攻读数学物理。玻耳兹曼为该系所奠定的学术传统对薛定谔有颇大的影响。薛定谔在大学期间,深入地研究了连续媒质物理学中的本征值问题,为他以后建立波动力学打下了基础。1910年获得博士学位。毕业后,在维也纳大学第二物理研究所工作。1913年与R. W. F. 科耳劳施合写了关于大气中镭A(即 ^{218}Po)含量测定的实验物理论文,为此获得了奥地利帝国科学院的海廷格奖金。第一次世界大战期间,他服役于一个偏僻的炮兵要塞,利用闲暇研究理论物理学。战后他回到第二物理研究所。1920年,移居耶拿,担任M. 维恩的物理实验室的助手。

1921年,薛定谔到瑞士苏黎世大学任数学物理教授,在那里工作了6年。在这期间,他专心从事理论物理学研究,发表了许多论文。开头几年,他主要研究有关热学的统计理论问题,写出了有关气体和反应动力学、振动、点阵振动(及其对内能的贡献)的热力学以及统计理论等方面的论文。也有一部分是有关原子光谱的。他还研究过色觉理论,他对有关红-绿色盲和蓝-黄色盲频率之间的关系的解释为生理学家们所接受。

1925年底到1926年初,薛定谔在A. 爱因斯坦关于单原子理想气体的量子理论和L. V. 德布罗意的物质波假说的启发下,从经典力学和几何光学间的类比,提出了对应于波动光学的波动力学方程,奠定了波动力学的基础。

1926年1—6月,他一连发表了四篇论文,题目都是《作为本征值问题的量子化》,系统地阐明了波动力学理论。后来,有关这个问题的主要论文都已收集在他的《波动力学论文集》(*Abhandlungen zur Wellenmechanik*, 莱比锡, Barth, 1927)中。普朗克曾高度评价薛定谔的波动力学方程,说:“这一方程式奠定了近代量子力学的基础,就像牛顿、拉格朗日和哈密顿创立的方程式在经典力学中所起的作用一样。”^①

1927年,薛定谔接替M. 普朗克,到柏林大学担任理论物理学教授,与普朗克建立了亲密的友谊。同年在莱比锡出版了他的《波动力学论文集》。1933年,薛定谔对于纳粹政权迫害杰出科学家的倒行逆施深为愤慨,同年11月初移居英国牛津,在马格达伦学院任访问教授。就在这一年,他与P. A. M. 狄拉克共同获得诺贝尔物理学奖。

1936年,薛定谔回到奥地利的格拉茨大学工作。1938年,德国法西斯吞并了奥地利。此后不久,薛定谔就偷偷穿过意大利前线,离开了法西斯占领区。他在美国普林斯顿大学

^① 参见普朗克:从现代物理学来看宇宙. 北京:商务印书馆1959年版,第11页.

◀ 古老的维也纳大学,已有600多年历史,这是大学主楼。

做了短期讲学之后,就到爱尔兰的都柏林高等研究院工作,他在那里工作了17年。

在这期间,薛定谔研究有关波动力学的应用及统计诠释,新统计力学的数学特征以及它与通常的统计力学的关系等问题。他还探讨了有关广义相对论的问题,并对波场作相对论性的处理。此外,他还写出了有关宇宙学问题的一些论著。与爱因斯坦一样,薛定谔在晚年特别热衷于把爱因斯坦的引力理论推广为一个统一场论,同样没有取得成功。

1944年,薛定谔发表了《生命是什么——活细胞的物理学观》一书(英文版,1948;中译本,1973)。在此书中,薛定谔试图用热力学、量子力学和化学理论来解释生命的本性,引入了非周期性晶体、负熵、遗传密码、量子跃迁式的突变等概念。这本书使许多青年物理学家开始注意生命科学中提出的问题,引导人们用物理学、化学方法去研究生命的本性,使薛定谔成为今天蓬勃发展的分子生物学的先驱。20世纪50年代初,克里克和沃森,就是在薛定谔的影响下,分析了主要的遗传物质——脱氧核糖核酸(DNA)的有关材料,提出了DNA的“双螺旋结构模型”,标志着对生命物质的研究进入了分子水平。

1956年薛定谔回到了奥地利,在他开始自己的科学生涯的维也纳大学物理系担任名誉教授。奥地利政府给予了他极大的荣誉,设立了以薛定谔的名字命名的国家奖金,由奥地利科学院授给。第一次奖金于1957年授予薛定谔本人。1957年他一度病危。1961年1月4日,他在奥地利的阿尔卑巴赫山村病逝。

一

薛定谔曾向英国物理学家狄拉克谈起过他建立波动力学的经过:^{①②}他在从事原子光谱的研究时,感到玻尔轨道理论中的量子化条件很难令人满意,他想到原子光谱可能是由某种本征值问题来决定的。1924年,法国物理学家德布罗意发表了关于物质波的论文,把波同做自由运动的粒子联系起来。这对薛定谔有很大启发。他设想,就像几何光学是波动光学的近似一样,经典力学可能也是一种波动力学的近似。他开始尝试把德布罗意波推广到非自由粒子方面。他最后得到了一个简洁的解,推导出来的能级是以某种算符的本征值的形式出现的。他立刻把他的方法应用到氢原子的电子,同德布罗意一样,他也考虑到了电子运动的相对论性力学。但得到的结果和实验不符。这使他很失望,觉得他的方法毫无长处,因而放弃了它。但在几个月之后,他又回头来研究这个问题。这时他发现,如果非相对论性地处理电子,所得结果将在非相对论性的近似上符合于观测的记录。这样,他才写出论文,在1926年发表,经过一番曲折,以他的名字命名的薛定谔方程终于问世了。

薛定谔的波动力学是正确反映低速微观物理现象的科学规律。如果要反映高速微

^① 参见 P. A. M. 狄拉克(Dirac)为薛定谔所写的讣闻,载英国《自然》(Nature)周刊第189卷(1961年)第355—356页。

^② 参见 P. A. M. 狄拉克:物理学家的自然图景的进化,科学的美国人(Scientific American),1963年5月号。

观物理现象,就需要建立相对论性的量子力学,就要求把薛定谔方程做相对论性的推广。克莱因-戈登方程是薛定谔方程的一种推广。狄拉克方程是另一种推广。克莱因-戈登方程和薛定谔最初所得到的结果是一致的,所以也有人称之为薛定谔-戈登方程。

本书一共包含了四次演讲。在第一次演讲中,薛定谔介绍了他是如何创建波动力学的。他把经典力学和波动力学的关系,类比于几何光学和波动光学的关系。类似于光学中用惠更斯的波动光学代替牛顿的粒子(射线)光学,即几何光学。他指出经典力学只是波动力学的一种近似,经典力学对于非常微小的系统不再适用。这样,薛定谔得到了他的波动力学方程。因为只对于分立的本征频率才能得到满足波动力学方程的正则解,这样他就可以自然地得出玻尔的定态能级,而不再是人为的假定了。

在第二次演讲中,薛定谔介绍了氢原子的波函数,并对选择定则和光谱线的偏振定则做了解释,并进一步推导了含有时间的波动力学方程。

第三次演讲介绍了次级辐射理论、色散理论和共振辐射理论,并把单质点波动力学推广到非单质点的系统。

第四次演讲进一步考虑了氢原子中核的运动,讨论了任意系统的微扰,以及两个任意系统间的相互作用。最后,探讨了 ψ 函数的物理意义。在附录 A《波动力学的意义》一文中,薛定谔表达了他对波函数的概率解释的不同意见。

在薛定谔发表关于波动力学的论文之前不久,德国物理学家海森伯等在 1925 年通过用矩阵描述辐射的不连续性,即量子性,建立了矩阵力学,也就是量子力学。这是描述低速微观物理现象的另一种形式体系。1926 年,薛定谔在《论海森伯、玻恩和约旦的量子力学和薛定谔的波动力学之间的关系》^①一文中,证明了二者在数学上是等价的,可以通过数学变换从一个理论转换到另一个理论。沿着两条不同的思维路线,发展出低速微观物理学的同一理论基础,这在科学史上也是一件比较突出的事例。但是,这种情况的出现,也绝不是偶然的。首先,这是由于他们都是从原子光谱等实验结果出发来建立自己的理论的,并以这些实验结果来检验自己的理论。第二,他们都认为微观世界的物理规律同宏观世界的物理规律有本质的区别,敢于冲破经典力学的框框;而同时又认为当从微观世界过渡到宏观世界时(即普朗克恒量 h 当相对于物理系统的线度和动量的乘积由不可忽略到可以忽略时),微观世界的物理规律应当过渡为宏观世界的物理规律。这在海森伯的工作中,就是“对应原理”的运用;在薛定谔的工作中,就是把经典力学看成是波动力学的近似(好像几何光学是波动光学的近似)。由于薛定谔是在德布罗意的物质波假设的基础上建立起波动力学的,而海森伯的矩阵力学只是对物理可观测量进行唯象的描述和计算,所以薛定谔的理论更为明确地反映了微观世界的波粒二象性。例如,在描述一个电子的薛定谔波动方程中,哈密顿算符 H 包括了电子的动能和位能,体现了电子的粒子性; ψ 是电子的波函数,它体现了电子的波动性;整个方程反映了二者的相互依存、相互制约和相互转化。量子力学的以后发展,主要以薛定谔的理论为出发点,这绝不是偶然的。

^① 薛定谔:波动力学论文集,伦敦:Blackie 1928 年版,第 45 页。

三

以玻尔、海森伯等为代表的哥本哈根学派从测不准关系出发，提出了互补原理。他们认为：“在原子物理学中，观测者和客体的相互作用引起受测系统不可控制的、巨大的变化。”^①“我们不能将一次观测结果完全客观化，我们不能描述这一次和下一次观测间发生的事情。”“我们已把主观论因素引入了这个理论。”“所发生的事情依赖于我们观测它的方法，依赖于我们观测它这个事实。”^②他们只承认可观测的现象之间的关系，否认现象后面的物理实体。他们还宣扬非决定论，认为“原子事件的空间时间描述是互补于它们的决定论描述的。”^③“时空描述和因果性的互补。”^④他们认为“波动图像和粒子图像是相互排斥的，因为一个东西不能同时是一个粒子又是一个波，但二者却相互补充。”^⑤

关于量子力学的解释，薛定谔同哥本哈根学派进行了二三十年的长期论战。他的主要论点如下：

第一，微观客体的真实状态是可知的。他在《几何学对微小的物理区域的不适用性》(1934年)^⑥中批评了“测量仪器对受测系统的作用在原则上是不可控制的”的论点。他在《基本粒子是什么？》^⑦一文中指出“测不准关系同不完全知识毫无关系”。为了解释测不准关系，他设想适用于微观世界的几何学不是三维空间而是位形空间。^⑧

第二，不能在微观物理学中摒弃素朴的实在论。他在《量子力学的现状》(1935年)^⑨一文中，提出了著名的“猫的比喻”，批评了哥本哈根学派“摒弃素朴的实在论”，反对他们以为“实在的……只是知觉、观察、测量”的实证主义观点。在《科学和人道主义——当代的物理学》(1951年)一书中，薛定谔指名批评了玻尔和海森伯，指出：“他们以为客体不能不依赖于观察主体而存在。他们认为物理学的新近发展已经推进到主观和客观的神秘边界，从而使这一边界已变得不再是一条明晰的边界了。”^⑩在《基本粒子是什么？》(1950年)一文中，薛定谔表示不同意“我们必须放弃用物理世界上真正发生的事情的字句来说话和思考。”^⑪“物理学发现本身无权强迫我们结束把物理世界描绘为客观实在的习惯。”^⑫他在《物质的映象》(1952年)一文中指出：“有一种广泛流行的假说，说什么在任何以前为人们所相信的解释中的实在的客观映象不能够存在了。只有那些乐观主义者

① 海森伯：量子论的物理原理，纽约：Dover 1930年版，第3页。

②③⑤ 海森伯：物理学和哲学——现代科学中的革命，纽约：Harper 1958年版，第三章：“量子论的哥本哈根解释”。

④ 海森伯：量子论的物理原理，纽约：Dover 1930年版，第65页。

⑥ 原载德国《自然科学》(Naturwissenschaften)，第22卷。

⑦⑪ 薛定谔：科学理论和人，纽约：Dover 1957年版，第203页。

⑧ 参见以上二文

⑨ 原载德国《自然科学》(Naturwissenschaften)，第23卷。

⑩ 薛定谔：科学和人道主义——当代的物理学，剑桥大学出版社1952年版，第50页。

⑫ 薛定谔：科学理论和人，纽约：Dover 1957年版，第204页。